

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-73206

(43)公開日 平成11年(1999) 3月16日

(51)Int.Cl. ⁴	識別記号	F I	
G 0 5 B 13/02		G 0 5 B 13/02	B
F 0 2 D 41/14	3 1 0	F 0 2 D 41/14	3 1 0 A
	3 3 0		3 3 0 Z
G 0 5 D 11/13		G 0 5 D 11/13	M
審査請求 未請求 請求項の数 5 F D (全 18 頁)			

(21)出願番号 特願平9-247519

(22)出願日 平成9年(1997) 8月29日

(71)出願人 000005326

本田技研工業株式会社

東京都港区南青山二丁目1番1号

(72)発明者 安井 裕司

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社
本田技術研究所内

(72)発明者 長谷川 祐介

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社
本田技術研究所内

(72)発明者 岩城 喜久

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社
本田技術研究所内

(74)代理人 弁理士 渡部 敏彦

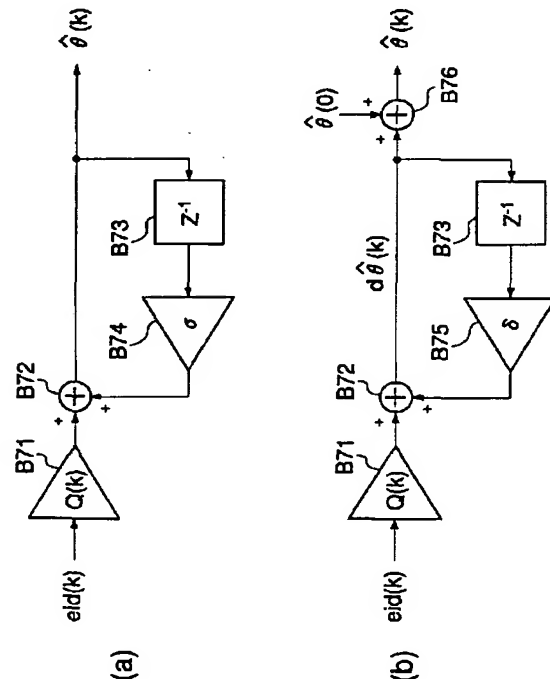
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラントの制御装置

(57)【要約】

【課題】 定常的な状態において適応制御を継続して実行した場合でも、適応パラメータのドリフトを防止し、安定した適応制御を継続することができるプラントの制御装置を提供する。

【解決手段】 適応パラメータベクトルの更新成分の前回値 $d\theta$ ハット $(k-1)$ に、忘却係数ベクトル δ を乗算し、同定誤差 $e_{id}(k)$ に所定のゲインを乗じた成分を加算することにより、更新成分の今回値 $d\theta$ ハット (k) を算出する。そして、更新成分 $d\theta$ ハット (k) を適応パラメータベクトルの初期値 θ ハット (0) に加算することにより、適応パラメータベクトルの今回値 θ ハット (k) を算出する(図13(b))。忘却係数ベクトル δ の要素は、適応パラメータ b_0 に対応する要素以外は、0より大きく1より小さい値に設定されている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 プラントの出力を検出する検出手段と、該検出手段の出力が目標値と一致するように前記プラントへの操作量を制御する適応制御器と、該適応制御器で用いる適応パラメータベクトルを調整する適応パラメータベクトル調整手段とを備えるプラントの制御装置において、

前記適応パラメータベクトル調整手段は、適応パラメータベクトルの初期値に、適応パラメータベクトルの更新成分を加算する形式で構成され、適応パラメータベクトルを更新するときは、前記更新成分の過去値の少なくとも一部の要素に、0 より大きく且つ 1 より小さい所定の係数を乗算することを特徴とするプラントの制御装置。

【請求項 2】 前記適応パラメータベクトル調整手段は、前記初期値にも前記所定の係数を乗算することを特徴とする請求項 1 に記載のプラントの制御装置。

【請求項 3】 前記適応パラメータベクトル調整手段は、前記操作量を決定する場合に除算項として適用される、前記適応パラメータベクトルの要素に対しては、前記所定の係数が乗算されないようにすることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のプラントの制御装置。

【請求項 4】 前記プラントは内燃機関であり、前記検出手段は、前記内燃機関の排気系に設けられた空燃比検出手段であり、前記目標値は前記内燃機関に供給する混合気の目標空燃比であり、前記操作量は前記内燃機関に供給する燃料量であることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【請求項 5】 前記操作量は、前記内燃機関の吸入空気量に対応した基本燃料量の補正係数として算出されることを特徴とする請求項 4 に記載のプラントの制御装置。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】本発明は、適応制御理論を応用したフィードバック制御により、プラントを制御するプラントの制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】適応パラメータ調整機構により、適応パラメータを算出し、この適応パラメータを用いる適応制御器によって、内燃機関に供給する混合気の空燃比を目標空燃比にフィードバック制御する空燃比制御装置は、従来より知られている（例えば特開平 8-240143 号公報）。この装置では、内燃機関排気系に設けられた空燃比センサによる検出空燃比が適応制御器に入力され、検出空燃比が目標空燃比に一致するように燃料供給量が決定される。すなわち、この装置では、内燃機関が制御対象であるプラントであり、機関への燃料供給量及び目標空燃比がプラントの操作量及び目標値に相当する。

【0003】上記公報に記載された装置では、適応パラメータ調整機構において適応パラメータの算出に使用す

る同定誤差信号（適応パラメータ値の最適値からのずれ量を示す信号）が、所定上下限値の範囲内となるようにリミット処理を行うことにより、適応制御の安定化を図っている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、同定誤差信号の値が所定上下限値の範囲内にあっても、適応パラメータベクトル θ ハット (k) の算出は、前記公報の式 8 に示されるように前回値 θ ハット ($k-1$) に同定誤差信号 e アスタリスクに所定のゲインを乗じた値を加算することにより行われるため、適応パラメータベクトル θ ハットに同定誤差信号 e アスタリスクが積算されて蓄積される。したがって、上記従来の装置では、制御対象たる内燃機関の運転状態が安定した定常状態において適応制御を継続した場合、適応パラメータベクトル θ ハットがドリフトする（数値が最適値から徐々にずれる）ことを避けることができなかった。

【0005】本発明はこの点に着目してなされたものであり、定常的な状態で適応制御を継続して実行した場合において適応パラメータの値が時間経過に伴って最適値から徐々にずれること（ドリフト）を防止し、安定した適応制御を継続することができるプラントの制御装置を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため請求項 1 に記載の発明は、プラントの出力を検出する検出手段と、該検出手段の出力が目標値と一致するように前記プラントへの操作量を制御する適応制御器と、該適応制御器で用いる適応パラメータベクトルを調整する適応パラメータベクトル調整手段とを備えるプラントの制御装置において、前記適応パラメータベクトル調整手段は、適応パラメータベクトルの初期値に、適応パラメータベクトルの更新成分を加算する形式で構成され、適応パラメータベクトルを更新するときは、前記更新成分の過去値の少なくとも一部の要素に、0 より大きく且つ 1 より小さい所定の係数を乗算することを特徴とする。

【0007】この構成によれば、適応パラメータベクトルを更新するときは、更新成分の過去値の少なくとも一部の要素に、0 より大きく且つ 1 より小さい所定の係数が乗算される。その結果、定常状態で適応パラメータベクトルの初期値に更新成分を加算する演算を繰り返しても、適応パラメータの値がドリフトすることがなく、安定した適応制御を継続することができる。

【0008】請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載の発明において、前記適応パラメータベクトル調整手段は、前記初期値にも前記所定の係数を乗算することを特徴とする。

【0009】この構成によれば、適応制御の継続時間が長くなると、適応パラメータベクトルの初期値の影響がなくなるので、初期値をどのように設定しても制御の安

定性を確保することができる。

【0010】請求項3に記載の発明は、請求項1または2に記載の発明において、前記適応パラメータベクトル調整手段は、前記操作量を決定する場合に除算項として適用される、前記適応パラメータベクトルの要素に対しては、前記所定の係数が乗算されないようにすることを特徴とする。

【0011】この構成によれば、前記操作量を決定する場合に除算項として適用される、適応パラメータベクトルの要素に対しては、前記所定の係数が乗算されないのので、除算項がゼロとなって操作量が発散するような事態を回避することができるとともに、適応制御の定常偏差をゼロとすることができる。

【0012】請求項5に記載の発明は、請求項1から4のいずれかに記載の発明において、前記プラントは内燃機関であり、前記検出手段は、前記内燃機関の排気系に設けられた空燃比検出手段であり、前記目標値は前記内燃機関に供給する混合気の目標空燃比であり、前記操作量は前記内燃機関に供給する燃料量であることを特徴とする。

【0013】この構成によれば、内燃機関の排気系に設けられた空燃比検出手段の出力が目標空燃比となるように適応制御器により燃料供給量が制御されるので、内燃機関の定常運転状態で適応パラメータベクトルの初期値に更新成分を加算する演算を繰り返しても、適応パラメータの値がドリフトすることがなく、安定した燃料供給量制御を継続することができる。

【0014】請求項5に記載の発明は、請求項4に記載の発明において、前記操作量は、前記内燃機関の吸入空気量に対応した基本燃料量の補正係数として算出されることを特徴とする。

【0015】この構成によれば、内燃機関の吸入空気量に対応した基本燃料量の補正係数が、適応制御器により算出され、空燃比の制御が行われる。その結果、燃料供給量操作量として直接算出する場合に比べて、操作量の変化範囲が狭くなり、制御をより安定化することができる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

【0017】（第1の実施形態）図1は、本発明のプラントの制御装置を、内燃機関（以下「エンジン」という）の空燃比制御装置として構成した場合の例を示す図である。すなわち図1には、エンジンをプラントとし、そのエンジンに供給する混合気の空燃比（燃料供給量）を操作量とするプラントの制御装置の構成が示されている。

【0018】図1において、1は4気筒のエンジンである。エンジン1の吸気管2は分岐部（吸気マニホールド）11を介してエンジン1の各気筒の燃焼室に連通する。

吸気管2の途中にはスロットル弁3が配されている。スロットル弁3にはスロットル弁開度（ θ TH）センサ4が連結されており、スロットル弁開度 θ THに応じた電気信号を出力して電子コントロールユニット（以下「ECU」という）5に供給する。吸気管2には、スロットル弁3をバイパスする補助空気通路6が設けられており、該通路6の途中には補助空気量制御弁7が配されている。補助空気量制御弁7は、ECU5に接続されており、ECU5によりその開弁量が制御される。

【0019】吸気管2のスロットル弁3の上流側には吸気温度（TA）センサ8が装着されており、その検出信号がECU5に供給される。吸気管2のスロットル弁3と吸気マニホールド11の間には、チャンバ9が設けられており、チャンバ9には吸気管内絶対圧（PBA）センサ10が取り付けられている。PBAセンサ10の検出信号はECU5に供給される。

【0020】エンジン1の本体にはエンジン水温（TW）センサ13が装着されており、その検出信号がECU5に供給される。ECU5には、エンジン1のクランク軸（図示せず）の回転角度を検出するクランク角度位置センサ14が接続されており、クランク軸の回転角度に応じた信号がECU5に供給される。クランク角度位置センサ14は、エンジン1の特定の気筒の所定クランク角度位置で信号パルス（以下「CYL信号パルス」という）を出力する気筒判別センサ、各気筒の吸入行程開始時の上死点（TDC）に関し所定クランク角度前のクランク角度位置で（4気筒エンジンではクランク角180度毎に）TDC信号パルスを出力するTDCセンサ及びTDC信号パルスより短い一定クランク角周期（例えば30度周期）で1パルス（以下「CRK信号パルス」という）を発生するCRKセンサから成り、CYL信号パルス、TDC信号パルス及びCRK信号パルスがECU5に供給される。これらの信号パルスは、燃料噴射時期、点火時期等の各種タイミング制御及びエンジン回転数NEの検出に使用される。

【0021】吸気マニホールド11の吸気弁の少し上流側には、各気筒毎に燃料噴射弁12が設けられており、各噴射弁は図示しない燃料ポンプに接続されているとともにECU5に電気的に接続されて、ECU5からの信号により燃料噴射時期及び燃料噴射時間（開弁時間）が制御される。エンジン1の点火プラグ（図示せず）もECU5に電気的に接続されており、ECU5により点火時期 θ IGが制御される。

【0022】排気管16は分岐部（排気マニホールド）15を介してエンジン1の燃焼室に接続されている。排気管16には分岐部15が集合する部分の直ぐ下流側に、空燃比検出手段としての広域空燃比センサ（以下「LAFセンサ」という）17が設けられている。さらにLAFセンサ17の下流側には直下三元触媒19及び床下三元触媒20が配されており、またこれらの三元触媒19

及び 20 の間には酸素濃度センサ（以下「O₂センサ」という）18 が装着されている。三元触媒 19、20 は、排気ガス中の HC、CO、NO_x 等の浄化を行う。

【0023】LAFセンサ 17 は、ローパスフィルタ 22 を介して ECU 5 に接続されており、排気ガス中の酸素濃度（空燃比）に略比例した電気信号を出力し、その電気信号を ECU 5 に供給する。O₂センサ 18 は、その出力が理論空燃比の前後において急激に変化する特性を有し、その出力は理論空燃比よりリッチ側で高レベルとなり、リーン側で低レベルとなる。O₂センサ 18 は、ローパスフィルタ 23 を介して ECU 5 に接続されており、その検出信号は ECU 5 に供給される。ローパスフィルタ 22、23 は、高周波ノイズ成分をカットするするために設けられたものであり、制御系の応答特性に対する影響は無視しうる程度のものである。

【0024】エンジン 1 は、吸気弁及び排気弁のうち少なくとも吸気弁のバルブタイミングを、エンジンの高速回転領域に適した高速バルブタイミングと、低速回転領域に適した低速バルブタイミングとの 2 段階に切換可能なバルブタイミング切換機構 60 を有する。このバルブタイミングの切換は、弁リフト量の切換も含み、さらに低速バルブタイミング選択時は 2 つの吸気弁のうち一方を休止させて、空燃比を理論空燃比よりリーン化する場合においても安定した燃焼を確保するようにしている。

【0025】バルブタイミング切換機構 60 は、バルブタイミングの切換を油圧を介して行うものであり、この油圧切換を行う電磁弁及び油圧センサ（図示せず）が ECU 5 に接続されている。油圧センサの検出信号は ECU 5 に供給され、ECU 5 は電磁弁を制御してバルブタイミングの切換制御を行う。

【0026】また、ECU 5 には、大気圧を検出する大気圧（PA）センサ 21 が接続されており、その検出信号が ECU 5 に供給される。

【0027】ECU 5 は、上述した各種センサからの入力信号波形を整形して電圧レベルを所定レベルに修正し、アナログ信号値をデジタル信号値に変化する等の機能を有する入力回路と、中央処理回路（CPU）と、該 CPU で実行される各種演算プログラムや後述する各種マップ及び演算結果等を記憶する ROM 及び RAM からなる記憶回路と、燃料噴射弁 12 等の各種電磁弁や点火プラグに駆動信号を出力する出力回路とを備えている。

【0028】ECU 5 は、上述の各種エンジン運転パラメータ信号に基づいて、LAFセンサ 17 及び O₂センサ 18 の出力に応じたフィードバック制御運転領域やオープン制御運転領域等の種々のエンジン運転状態を判別するとともに、エンジン運転状態に応じ、下記数式 1 により燃料噴射弁 12 の燃料噴射時間 TOUT を演算し、この演算結果に基づいて燃料噴射弁 12 を駆動する信号を出力する。

【0029】

$$\text{【数 1】 } TOUT = TIMF \times KTOTAL \times KCMD \times M \times KFB$$

図 2 は上記数式 1 による燃料噴射時間 TOUT の算出手法を説明するための機能ブロック図であり、これを参照して本実施の形態における燃料噴射時間 TOUT の算出手法の概要を説明する。なお、本実施の形態ではエンジンへの燃料供給量は燃料噴射時間として算出されるが、これは噴射される燃料量に対応するので、TOUT を燃料噴射量若しくは燃料量とも呼んでいる。

【0030】図 2 においてブロック B1 は、吸入空気量に対応した基本燃料量 TIMF を算出する。この基本燃料量 TIMF は、基本的にはエンジン回転数 NE 及び吸気管内絶対圧 PBA に応じて設定されるが、スロットル弁 3 からエンジン 1 の燃焼室に至る吸気系をモデル化し、その吸気系モデルに基づいて吸入空気の流れを考慮した補正を行うことが望ましい。その場合には、検出パラメータとしてスロットル弁開度 θ_{TH} 及び大気圧 PA をさらに用いる。

【0031】ブロック B2～B4 は乗算ブロックであり、ブロックの入力パラメータを乗算して出力する。これらのブロックにより、上記数式 1 の演算が行われ、燃料噴射量 TOUT が得られる。

【0032】ブロック B9 は、エンジン水温 TW に応じて設定されるエンジン水温補正係数 KTW、排気還流実行中に排気還流量に応じて設定される EGR 補正係数 KEGR、蒸発燃料処理装置によるパーズ実行時にパーズ燃料量に応じて設定されるパーズ補正係数 KPUG 等のフィードフォワード系補正係数をすべて乗算することにより、補正係数 KTOTAL を算出し、ブロック B2 に入力する。

【0033】ブロック B21 は、エンジン回転数 NE、吸気管内絶対圧 PBA 等に応じて目標空燃比係数 KCMD を決定し、ブロック 22 に入力する。目標空燃比係数 KCMD は、空燃比 A/F の逆数、すなわち燃空比 F/A に比例し、理論空燃比のとき値 1.0 をとるので、目標当量比ともいう。ブロック B22 は、ローパスフィルタ 23 を介して入力される O₂センサ出力 VMO2 に基づいて目標空燃比係数 KCMD を修正し、ブロック B18、B23 及び B24 に入力する。ブロック B23 は、KCMD 値に応じて燃料冷却補正を行い最終目標空燃比係数 KCMDM を算出し、ブロック B3 に入力する。

【0034】ブロック B10 は、ローパスフィルタ 22 を介して入力される LAFセンサ出力値を、CRK 信号パルスの発生毎にサンプリングし、そのサンプル値をリングバッファメモリに順次記憶し、エンジン運転状態に応じて最適のタイミングでサンプリングしたサンプル値を選択し（LAFセンサ出力選択処理）、ブロック B17 に入力する。この LAFセンサ出力選択処理は、サンプリングのタイミングによっては変化する空燃比を正確

に検出できないこと、燃焼室から排出される排気ガスがLAFセンサ17に到達するまでの時間やLAFセンサ自体の反応時間がエンジン運転状態によって変化することを考慮したものである。

【0035】ブロックB17は、LAFセンサ17の検出空燃比に基づいて適応制御器(Self Tuning Regulator)により適応補正係数KSTRを算出してブロックB19に入力する。この適応制御は、目標空燃比係数KCMD(KCMDM)を基本燃料量TIMFに乗算するだけでは、エンジンの応答遅れがあるため目標空燃比がなまされた検出空燃比になってしまうため、これを動的に補償し、外乱に対するロバスト性を向上させるために導入したものである。ブロックB19は、適応補正係数KSTRを目標空燃比係数KCMDで除算することによりフィードバック補正係数KFBを算出し、ブロックB4に入力する。この除算処理は、適応補正係数KSTRは、検出当量比KACTが目標空燃比係数KCMDに一致するように演算され、目標空燃比係数KCMDに対応する要素を含むので、基本燃料量TIMFに対して、目標空燃比係数KCMDに対応する要素が重複して乗算されないようにするために行われる。

【0036】以上のように本実施の形態では、LAFセンサ17の出力に応じて、適応制御により算出した適応補正係数KSTRを、目標空燃比係数KCMDで除算したものをフィードバック補正係数KFBとして上記数式1に適用し、燃料噴射量TOUTを算出している。適応補正係数KSTRにより、検出される空燃比変化に対する追従性及び外乱に対するロバスト性を向上させ、触媒の浄化率を向上させ、種々のエンジン運転状態において良好な排気ガス特性を得ることができる。

【0037】本実施の形態では、上述した図2の各ブロックの機能は、ECU5のCPUによる演算処理により実現されるので、この処理のフローチャートを参照して処理の内容を具体的に説明する。なお、以下の説明において添え字(k)は、離散系におけるサンプリング時刻に対応するものであり、(k)、(k-1)等がそれぞれ今回値、前回値等に対応する。ただし、今回値を示す(k)は特に必要のない限り省略している。

【0038】図3は、LAFセンサ17の出力に応じて適応補正係数KSTRを算出する処理のフローチャートである。本処理はTDC信号パルスの発生毎に実行される。

【0039】ステップS1では、始動モードか否か、すなわちクランキング中か否かを判別し、始動モードのときは始動モードの処理へ移行する。始動モードでなければ、目標空燃比係数(目標当量比)KCMD及び最終目標空燃比係数KCMDMの算出(ステップS2)及びLAFセンサ出力の読み込みを行う(ステップS3)とともに検出当量比KACTの演算を行う(ステップS4)。検出当量比KACTは、LAFセンサ17の出力

を当量比に変換したものである。

【0040】次いでLAFセンサ17の活性化が完了したか否かの活性判別を行う(ステップS5)。これは、例えばLAFセンサ17の出力電圧とその中心電圧との差を所定値(例えば0.4V)と比較し、該差が所定値より小さいとき活性化が完了したと判別するものである。

【0041】次にエンジン運転状態がLAFセンサ17の出力に基づくフィードバック制御を実行する運転領域(以下「LAFフィードバック領域」という)にあるか否かの判別を行う(ステップS6)。これは、例えばLAFセンサ17の活性化が完了し、且つフュエルカット中やスロットル全開運転中でないとき、LAFフィードバック領域と判定するものである。この判別の結果、LAFフィードバック領域にないときはリセットフラグFKLAFRESETを「1」に設定し、LAFフィードバック領域にあるときは「0」とする。

【0042】続くステップS7では、リセットフラグFKLAFRESETが「1」か否かを判別し、FKLAFRESET=1のときは、ステップS8に進んで適応補正係数KSTRを「1.0」に設定して、本処理を終了する。また、FKLAFRESET=0のときは、適応補正係数KSTRの演算を行って(ステップS9)、本処理を終了する。

【0043】図4は、図3のステップS6におけるLAFフィードバック領域判別処理のフローチャートである。

【0044】先ずステップS121では、LAFセンサ17が不活性状態にあるか否かを判別し、活性状態にあるときはフュエルカット中であることを「1」で示すフラグFFCが「1」か否かを判別し(ステップS122)、FFC=0であるときは、スロットル弁全開中であることを「1」で示すフラグFWOTが「1」か否かを判別し(ステップS123)、FWOT=1でないときは、図示しないセンサによって検出したバッテリー電圧VBATが所定下限値VBLOWより低いかなかを判別し(ステップS124)、VBAT \geq VBLOWであるときは、理論空燃比に対応するLAFセンサ出力のずれ(LAFセンサストイキずれ)があるかなかを判別する。そして、ステップS121~S125のいずれかの答が肯定(YES)のときは、LAFセンサ出力に基づくフィードバック制御を停止すべき旨を「1」で示すKLAFLリセットフラグFKLAFRESETを「1」に設定する(ステップS132)。

【0045】一方、ステップS121~S125の答がすべて否定(NO)のときは、LAFセンサ出力に基づくフィードバック制御を実行可能と判定して、KLAFLリセットフラグFKLAFRESETを「0」に設定する(ステップS131)。

【0046】次に適応補正係数KSTR算出処理につい

て、図5を参照して説明する。

【0047】図5は、図2のブロックB17、すなわち適応制御（STR (Self Tuning Regulator)）ブロックにおける演算処理を説明するための図であり、このSTRブロックは、目標空燃比係数（目標当量比）KCMD(k)と検出当量比KACT(k)とが一致するように適応補正係数KSTRを設定する適応制御器としてのSTRコントローラと、該STRコントローラで使用する適応パラメータを設定する適応パラメータ調整手段としての適応パラメータ調整機構とからなる。

【0048】公知の適応制御の調整則の一つに、ランダウらが提案したパラメータ調整則があり、本実施の形態では、このランダウらの調整則を用いた。ランダウらの

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n}$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}$$

【0050】

【数3】

$$\hat{\theta}^T(k) = [b_0(k), r_1(k), \dots, r_{m+d-1}(k), s_0(k), \dots, s_{n-1}(k)]$$

$$= [b_0(k), r_1(k), r_2(k), r_3(k), s_0(k)]$$

【0051】

【数4】

$$\zeta^T(k) = [u(k), \dots, u(k-m-d+1), y(k), \dots, y(k-n+1)]$$

$$= [u(k), u(k-1), u(k-2), u(k-3), y(k)]$$

ここで、適応パラメータベクトル $\hat{\theta}$ ハット(k)は、数式5で表される。また、数式5中の $\Gamma(k)$ 及び e^* アスタリスク(k)は、それぞれゲイン行列及び同定誤差信号であり、数式6及び数式7のような漸化式で表される。

【数5】

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + \Gamma(k-1) \zeta(k-d) e^*(k)$$

【0053】

【数6】

$$\Gamma(k) = \frac{1}{\lambda_1(k)} \left[\Gamma(k-1) - \frac{\lambda_2(k) \Gamma(k-1) \zeta(k-d) \zeta^T(k-d) \Gamma(k-1)}{\lambda_1(k) + \lambda_2(k) \zeta^T(k-d) \Gamma(k-1) \zeta(k-d)} \right]$$

【0054】

【数7】

$$e^*(k) = \frac{D(z^{-1})y(k) - \hat{\theta}^T(k-1)\zeta(k-d)}{1 + \zeta^T(k-d)\Gamma(k-1)\zeta(k-d)}$$

数式6中の $\lambda_1(k)$ 、 $\lambda_2(k)$ の選び方により、種々の具体的なアルゴリズムが与えられる。 $\lambda_1(k) = 1$ 、 $\lambda_2(k) = \lambda$ ($0 < \lambda < 2$) とすると漸減ゲインアルゴリズム ($\lambda = 1$ の場合、最小自乗法)、 $\lambda_1(k) = \lambda_1$ ($0 < \lambda_1 < 1$)、 $\lambda_2(k) = \lambda_2$ ($0 < \lambda_2 < 2$) とすると、可変ゲインアルゴリズム ($\lambda_2 = 1$ の場合、重み付き最小自乗法)、 $\lambda_1(k) / \lambda_2(k) = \alpha$ とおき、 λ_3 が数式8のように表されると、 $\lambda_1(k) = \lambda_3$ とおくと固定トレースアルゴリズムとなる。また、 $\lambda_1(k) = 1$ 、 $\lambda_2(k) = 0$ のとき固定ゲインアルゴリズムとなる。この場合は数式5か

調整則では、離散系の制御対象の伝達関数 $A(z^{-1}) / B(z^{-1})$ の分母分子の多項式を数式2のようにおいたとき、適応パラメータベクトル $\hat{\theta}$ ハット(k)及び適応パラメータ調整機構への入力 $\zeta(k)$ は、数式3、4のように定められる。数式3、4では、 $m=1$ 、 $n=1$ 、 $d=3$ の場合、即ち1次系で3制御サイクル分の無駄時間を持つプラントを例にとった。ここでkは時刻、より具体的には制御サイクルを示す。また、数式4において、 $u(k)$ 及び $y(k)$ は、本実施形態では、それぞれ適応補正係数KSTR(k)及び検出当量比KACT(k)に対応する。

【0049】

【数2】

ら明らかなように、 $\Gamma(k) = \Gamma(k-1)$ となり、よって $\Gamma(k) = \Gamma$ の固定値となる。

【0055】また数式7の $D(z^{-1})$ は、漸近安定な多項式であって収束性を決定するために設計者が任意に設定できるものである。なお本実施の形態においては、

1. 0に設定している。

【0056】

【数8】

$$\lambda_3(k) = 1 - \frac{\|\Gamma(k-1)\zeta(k-d)\|^2}{\alpha + \zeta^T(k-d)\Gamma(k-1)\zeta(k-d)} \cdot \frac{1}{\text{tr}\Gamma(0)}$$

数式8において、 $\text{tr}\Gamma(0)$ は、行列 $\Gamma(0)$ のトレース関数であり、具体的には、行列 $\Gamma(0)$ の対角成分の和（スカラー量）である。

【0057】ここで、図7にあつては、前記STRコントローラと適応パラメータ調整機構とは燃料噴射量演算系の外におかれ、検出当量比KACT(k+d)が目標

当量比 $KCMD(k)$ に適応的に一致するように動作して適応補正係数 $KSTR(k)$ を演算する。

【0058】このように、適応補正係数 $KSTR(k)$ 及び検出当量比 $KACT(k)$ が適応パラメータ調整機構に入力され、そこで適応パラメータベクトル θ ハット (k) が算出されて STR コントローラに入力される。 STR コントローラには入力として目標当量比 $KCMD$

(k) が与えられ、検出当量比 $KACT(k+d)$ が目標当量比 $KCMD(k)$ に一致するように漸化式を用いて適応補正係数 $KSTR(k)$ が算出される。

【0059】適応補正係数 $KSTR(k)$ は、具体的には数式 9 に示すように求められる。

【0060】

【数 9】

$$KSTR(k) = \frac{KCMD(k) - s_0 KACT(k) - r_1 KSTR(k-1) - r_2 KSTR(k-2) - r_3 KSTR(k-3)}{b_0}$$

この数式 9 (及び数式 3、4 の第 2 式) は、プラントとしてのエンジン 1 及びプラント出力の検出手段としての LAF センサ 17 のむだ時間 d を 3 制御サイクルとして、 STR コントローラを設計したときに得られるものであるが、エンジン 1 や LAF センサ 17 の仕様変更により、むだ時間 d が 3 制御サイクルより大きくなる場合がある。例えばむだ時間 $d=5$ とした場合、適応パラメ

ータベクトル θ ハット (k) 及び適応パラメータ調整機構の入力ベクトル $\zeta(k)$ は、数式 10、11 のようになり、また適応補正係数 $KSTR(k)$ の演算式は数式 12 のようになる。

【0061】

【数 10】

$$\hat{\theta}^T(k) = [b_0(k), r_1(k), r_2(k), r_3(k), r_4(k), r_5(k), s_0(k)]$$

【0062】

【数 11】

$$\zeta^T(k) = [u(k), u(k-1), u(k-2), u(k-3), u(k-4), u(k-5), y(k)]$$

【0063】

【数 12】

$$KSTR(k) = \frac{1}{b_0} \{ KCMD(k) - s_0 KACT(k) - r_1 KSTR(k-1) - r_2 KSTR(k-2) - r_3 KSTR(k-3) - r_4 KSTR(k-4) - r_5 KSTR(k-5) \}$$

したがって、適応補正係数 $KSTR$ を算出するのに必要な演算量が大幅に増加し、車両に搭載されたエンジン制御用の CPU で演算するのは実用的でないレベルとなってしまう。そこで、本実施形態では、 STR コントローラの構成は、図 5 に示すようにむだ時間 $d=3$ に対応したものとし、適応パラメータ調整機構の入力ベクトル ζ のサンプリング時期 (本明細書においては、演算に用いる入力ベクトル ζ が演算される演算サイクルをサンプリング時期と呼ぶものとする) を、実際のむだ時間 d_{act} ($d_{act} > d$ であって例えば 5) に対応したものとする手法 (以下「低次元化 STR 」という) を採用した。すなわち、上記数式 5~7 において、 $d=d_{act}=3$ であれば、 $\zeta(k-d)=\zeta(k-3)$ とする ($\zeta(k-d)$ の転置行列 $\zeta^T(k-d)$ も同様、以下同じ) が、実際のむだ時間 d_{act} が「3」より大きい例えば「5」であるときは、 STR コントローラ自体は $d=3$ に対応したものとし、数式 5~7 の $\zeta(k-d)$ を、実際のむだ時間 d_{act} に対応した $\zeta(k-5)$ とする。そして、このようにして算出された適応パラメータベクトル θ ハット (k) (b_0, s_0, r_1, r_2, r_3 を要素とし、 r_4, r_5 を含まない) を数式 9 に適用して、適応補正係数 $KSTR$ を算出するようにした。なお、この場合ベクトル $\zeta(k)$ は、当然 $d=3$ に対応

した、数式 4 の第 2 式で表されるものとなり、次数は増加しない。

【0064】このように低次元化 STR を採用することにより、 STR コントローラ及び適応パラメータ調整機構の次数を制御対象の実際のむだ時間 d_{act} に合わせて増加させることなく、実際のむだ時間 d_{act} に適した適応制御を行うことができ、適応補正係数 $KSTR$ を得るための演算量の増加を抑制しつつ、高精度の適応制御を行うことができる。

【0065】図 6 は、制御対象の実際のむだ時間 d_{act} が 3 制御サイクルより大きい場合において、目標当量比 $KCMD$ を変化させたときの、適応補正係数 $KSTR$ 及び検出当量比 $KACT$ の変化を示す図である。同図

(a) は、 STR コントローラをむだ時間 $d=3$ に対応したものとし、適応パラメータ調整機構の入力ベクトル ζ のサンプリング時期も $d=3$ に対応させて、数式 5~7 の $\zeta(k-d)$ を $\zeta(k-3)$ とした場合を示し、同図 (b) は、 STR コントローラをむだ時間 $d=3$ に対応したものとし、適応パラメータ調整機構の入力ベクトル ζ のサンプリング時期を、実際のむだ時間 d_{act} にほぼ一致する $d=4$ に対応させて、数式 5~7 の $\zeta(k-d)$ を $\zeta(k-4)$ とした場合を示す。これらの図から明らかなように、本実施形態のように、 STR コント

ローラの設計上のむだ時間 d が、実際のむだ時間 d_{act} より小さい場合でも、適応パラメータ調整機構の入力ベクトル ζ のサンプリング時期を実際のむだ時間 d_{act} にほぼ対応したものとすることにより、適応制御の追従性及び安定性を大幅に改善することができる。

【0066】制御対象の実際のむだ時間は、連続的な数値であるのに対し、適応制御上のむだ時間の設定は、離散化された数値とする必要があるため、例えば実際のむだ時間が4.5制御サイクル相当の時間である場合には、 $d_{act}=4$ とした場合の制御性能と、 $d_{act}=5$ とした場合の制御性能とを実験により比較し、最適値を選択することが望ましい。

【0067】上述したように低次元化STRを採用すると、演算量を増大させることなく適応制御の性能を向上させることができるが、設計上想定したモデルが実際の制御対象と異なるため、適応パラメータベクトル θ ハットのドリフトが起きやすくなる可能性がある。また、上述したような低次元化を行わない場合でも、数式5は、本質的に外乱による微少な同定誤差が、適応パラメータに積算されるという特性を有するので、数式5を使用して適応パラメータベクトル θ ハットを算出する限り、定常状態が継続すると適応パラメータベクトル θ ハットがドリフトすることは避けられない。

【0068】そこで本実施形態では、適応パラメータベクトル θ ハットのドリフトを防止する手段を追加することとした。以下その内容を説明する。

【0069】図7は、本実施形態における適応パラメータベクトル θ ハットの算出手法を説明するためのブロック図であり、同図において、 $e_{id}(k)$ 及び $Q(k)$ は、数式13で定義される同定誤差及び可変ゲインである。

【0070】

【数13】

$$e_{id}(k) = D(Z^{-1})y(k) - \hat{\theta}^T(k-1)\zeta(k-d)$$

$$Q(k) = \frac{\Gamma(k-1)\zeta(k-d)}{1 + \zeta^T(k-d)\Gamma(k-1)\zeta(k-d)}$$

同定誤差 $e_{id}(k)$ は、同定誤差信号 e アスタリスク (数式7) の分子に対応し、可変ゲイン $Q(k)$ は、数式5の第2項を同定誤差 $e_{id}(k)$ で除算したのに対応する。すなわち、同定誤差 e_{id} 及び可変ゲイン $Q(k)$ を用いると適応パラメータベクトル θ ハット $\hat{\theta}(k)$ は、数式14のように表される。

【0071】

【数14】

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + Q(k)e_{id}(k)$$

図7(a)において、同定誤差 $e_{id}(k)$ は、非線形

フィルタブロックB51に入力され、その出力 $e_{ida}(k)$ は乗算ブロックB52を介して積分器ブロックB53に入力される。非線形フィルタブロックB51の入出力特性は、例えば図8(a)に示すように設定される。すなわち、 $-\eta \leq e_{id} \leq \eta$ (η は実験的に決定される所定値である) であるときは、 $e_{ida}=0$ とされ、それ以外のときは $e_{ida}=e_{id}$ とされ、入力 e_{id} が $\pm\eta$ の範囲 (以下「不感帯」という) 内にあるときは、出力 $e_{ida}=0$ とされる。

【0072】ブロックB52及びB53における演算は、数式14の演算 ($e_{id}(k)$ を $e_{ida}(k)$ に置き換えたもの) に対応する。

【0073】このように本実施形態では、非線形フィルタブロックB51の処理が追加されている。これにより、内燃機関の運転状態が定常状態となつて、適応パラメータベクトル θ ハットの同定がほぼ完了した状態では、同定誤差 e_{id} は、 $\pm\eta$ でさまる不感帯の範囲内となるため、出力 $e_{ida}=0$ となり、設計上想定したモデルと、実際のプラントの特性との差や外乱の影響で発生する微少な同定誤差が蓄積されることを防止することができ、適応パラメータベクトル θ ハットのドリフトを防止することができる。

【0074】ここで図8(a)の入出力特性は、 $e_{id} = -\eta$ 、 η において不連続点を有するため、同定誤差 e_{id} が不感帯をはずれるときに、適応パラメータベクトル θ ハットが急激に変化する。したがって、非線形フィルタブロックB51の入出力特性は、同図(b)に示すように不連続点の無いものとする、すなわち、 $-\eta \leq e_{id} \leq \eta$ であるときは、 $e_{ida}=0$ とし、 $e_{id} > \eta$ であるときは、 $e_{ida}=e_{id}-\eta$ とし、 $e_{id} < -\eta$ であるときは、 $e_{ida}=e_{id}+\eta$ とすることが望ましい。

【0075】また、図7(a)に示すように非線形フィルタブロックB58を追加するのみでは、適応制御の定常偏差 (目標当量比KCMDと検出当量比KACTとの定常偏差) が発生するという問題がある。不感帯の範囲内にある同定誤差は、適応パラメータベクトル θ ハットに反映されないからである。

【0076】そこで、図7(b)に示すようにブロックB61~B66を追加することが望ましい。乗算ブロックB61、B64、加算ブロックB62、遅延ブロックB63は、一次遅れフィルタ (ローパスフィルタ) を構成する。このフィルタの出力 e_{idf} が、制限フィルタブロックB65でそのレベルが制限され、加算ブロックB66で非線形フィルタブロックB51の出力 e_{ida} と加算される。加算ブロックB66の出力は、乗算ブロックB52に入力される。

【0077】一次遅れフィルタの出力 e_{idf} は、下記数式15で表される。

【0078】

【数15】 $eidf = CLF \times eidf_a(k-1) + (1-CLF) \times eidf(k)$

ここで、CLFは1より小さく、かつ1に非常に近い値（例えば0.988）に設定される、すなわちローパスフィルタのカットオフ周波数が0に近い値となるように設定されるなまし係数である。

【0079】制限フィルタブロックB65は、図8

(c)に示すような特性のリミッタを構成する。すなわち、フィルタ出力 $eidf$ が、 $-\eta$ より小さいときは、リミッタ出力 $eidf_a = -\eta$ とされ、 η より大きいときは、リミッタ出力 $eidf_a = \eta$ とされ、 $-\eta \leq eidf \leq \eta$ であるとき、 $eidf_a = eidf$ とされる。

【0080】図7(b)に示す変形例では、カットオフ周波数が0に近いローパスフィルタにより、同定誤差 $eidf$ の定常偏差成分が抽出され、非線形フィルタブロックB51の出力 $eida$ に加算されるので、同定誤差 $eidf$ の定常偏差成分が適応パラメータベクトル θ ハットに反映され、適応制御の定常偏差（目標当量比 $KCMD$ と検出当量比 $KACT$ との定常偏差）をなくすることができる。

$$\zeta^T(k) = [u(k), u(k-4), u(k-8), u(k-12), y(k)]$$

【0084】

【数17】

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-4) + \Gamma(k-4) \zeta(k-4)d e^*(k)$$

$$\Gamma(k) = \frac{1}{\lambda_1(k)} \left[\Gamma(k-4) - \frac{\lambda_2(k) \Gamma(k-4) \zeta(k-4)d \zeta^T(k-4)d \Gamma(k-4)}{\lambda_1(k) + \lambda_2(k) \zeta^T(k-4)d \Gamma(k-4) \zeta(k-4)d} \right]$$

【0086】

【数19】

$$e^*(k) = \frac{D(z^{-1})y(k) - \hat{\theta}^T(k-4)\zeta(k-4)d}{1 + \zeta^T(k-4)d \Gamma(k-4) \zeta(k-4)d}$$

$$\lambda_3(k) = 1 - \frac{\|\Gamma(k-4)\zeta(k-4)d\|^2}{\alpha + \zeta^T(k-4)d \Gamma(k-4) \zeta(k-4)d} \cdot \frac{1}{\text{tr}(\Gamma(0))}$$

【0088】

$$KSTR(k) = \frac{KCMD(k) - s_0 \times KACT(k) - r_1 \times KSTR(k-4) - r_2 \times KSTR(k-8) - r_3 \times KSTR(k-12)}{b_0}$$

なお、実際のむだ時間 d_{act} が例えば「4」であるときは、数式17～20の d を「4」とした数式を使用し、適応パラメータ b_0 , s_0 , $r_1 \sim r_3$ を算出する。

【0089】図9は、図3のステップS9におけるKSTR算出処理のフローチャートである。

【0090】先ずステップS401では、前回リセットフラグ $FLAFRESET$ が「1」であったか否かを判別し、 $FLAFRESET = 1$ であって適応制御を実行していなかったときは、適応パラメータ b_0 , s_0 , $r_1 \sim r_3$ を初期値に設定する初期化処理を実行してステ

ップS404に進む。また、ステップS401で $FLAFRESET = 0$ であって、前回も適応制御を実行していたときは、図10に示す適応パラメータ b_0 , s_0 , $r_1 \sim r_3$ 演算処理を実行する。

【0082】次に本実施形態における適応補正係数KSTRの実際の算出式を説明する。上述した数式4～9

は、制御サイクルと制御周期（TDC信号パルスの発生周期）とを一致させ、全気筒について共通の適応補正係数KSTRを使用する場合のものであるが、本実施形態では、制御サイクルを気筒数と対応させて4TDCとすることにより、気筒毎に適応補正係数KSTRを決定するようにしている。具体的には、上記数式4～9をそれぞれ数式16～21に置き換えて、適応補正係数KSTRを決定することにより、気筒別の適応補正係数KSTRを算出して適応制御を行っている。

【0083】

【数16】

【0085】

【数18】

【0087】

【数20】

【数21】

b_0

ップS404に進む。また、ステップS401で $FLAFRESET = 0$ であって、前回も適応制御を実行していたときは、図10に示す適応パラメータ b_0 , s_0 , $r_1 \sim r_3$ 演算処理を実行する。

【0091】本実施形態では、前記数式17による θ ハット(k)、すなわち適応パラメータ b_0 , s_0 , $r_1 \sim r_3$ の算出は、4TDC期間（TDC信号パルスが4回発生する期間＝1燃焼サイクル）に1回行うようにしている。図10のステップS431では、前回の数式17による算出から4TDC期間が経過したか否かを

判別し、経過したときは、数式17による適応パラメータ b_0 , s_0 , $r_1 \sim r_3$ の算出を行う（ステップS432）。4TDC期間経過してないときは、適応パラメータの $b_0(k)$, $s_0(k)$, $r_1(k) \sim r_3(k)$ を、それぞれ前回値 $b_0(k-1)$, $s_0(k-1)$, $r_1(k-1) \sim r_3(k-1)$ に設定する。

【0092】ステップS432またはS433実行後は、下記数式22により適応パラメータ b_0 , s_0 , $r_1 \sim r_3$ の p TDC期間（例えば $p=8$ とした8TDC期間）の移動平均値 b_0AV , r_0AV , r_1AV , r_2AV , r_3AV を算出し（ステップS434）、本処理を終了する。なお、この移動平均化処理を行うために、適応パラメータ b_0 , s_0 , $r_1 \sim r_3$ の p TDC

$$b_0AV = \sum_{i=0}^{p-1} b_0(k-i) / p$$

$$r_1AV = \sum_{i=0}^{p-1} r_1(k-i) / p$$

$$r_3AV = \sum_{i=0}^{p-1} r_3(k-i) / p$$

図11は、平均化期間 $p=8$ の場合の移動平均値 θ ハットAVの算出手法を説明するための図である。同図において、適応パラメータベクトル θ ハットの更新は、4TDC期間に1回行われるので、 θ ハット $(k-8) = \theta$ ハット $(k-7) = \theta$ ハット $(k-6) = \theta$ ハット $(k-5)$, θ ハット $(k-4) = \theta$ ハット $(k-3) = \theta$ ハット $(k-2) = \theta$ ハット $(k-1)$ である。したがって、移動平均化した適応パラメータベクトル θ ハットAVには、更新された θ ハットの値が徐々に反映される。この移動平均化演算は、更新されたベクトル θ ハット $(k-8)$, θ ハット $(k-4)$, θ ハット (k) 等の要素を平均化するものでない点に特徴がある。

【0094】図12は、適応パラメータ b_0 と移動平均値 b_0AV の推移の一例を示す図である。この図において、適応パラメータ $b_0(0)$ から $b_0(4)$ は、初期値として同一値に設定されており、例えば移動平均値 $b_0AV(8)$ は、適応パラメータ $b_0(1)$ から $b_0(8)$ までの平均値として算出され、また移動平均値 $b_0AV(13)$ は、適応パラメータ $b_0(6)$ から $b_0(13)$ までの平均値として算出される。すなわち、移動平均値 $b_0AV(8)$ は、適応パラメータ $b_0(0)$ で代表される初期値と、適応パラメータ $b_0(4)$ で代

期間（以下「 p 」を平均化期間という）の値を格納するリングバッファ（記憶手段）が設けられており、リングバッファの内容は、1TDC期間毎に、新たに算出された適応パラメータまたは前回値によって更新され、最も古いデータが捨てられる。なお、リングバッファの更新は、適応パラメータベクトル θ ハットを新たに演算したときに4TDC期間分の同じ値を格納する（すなわち、新たに算出された θ ハット (k) の値を、 θ ハット (k) から θ ハット $(k+3)$ に対応させて格納する）ことにより行うようにしてもよい。

【0093】

【数22】

$$s_0AV = \sum_{i=0}^{p-1} s_0(k-i) / p$$

$$r_2AV = \sum_{i=0}^{p-1} r_2(k-i) / p$$

表される第1回更新値と、適応パラメータ $b_0(8)$ で代表される第2回更新値とから得られる重み付け補間演算値であり、移動平均値 $b_0(13)$ は、適応パラメータ $b_0(4)$ で代表される第1回更新値と、適応パラメータ $b_0(8)$ で代表される第2回更新値と、適応パラメータ $b_0(12)$ で代表される第3回更新値とから得られる重み付け補間演算値であるとみることができる。

【0095】図9に戻り、ステップS404では、前記数式21に図10のステップS434で移動平均化された適応パラメータ b_0AV , s_0AV , $r_1AV \sim r_3AV$ を適用して、適応補正係数 $KSTR$ を算出する。このように、適応パラメータ b_0 , s_0 , $r_1 \sim r_3$ の移動平均値を用いることにより、適応パラメータ b_0 , s_0 , $r_1 \sim r_3$ を4TDC期間に1回の頻度で更新すること及びLAFセンサ17のローパス特性に起因する適応制御の不安定化を防止することができる。すなわち、このような移動平均化により、同定誤差信号 e アスタリスクに含まれる、特定周波数及びその高調波周波数においてピーク（共振）を示す成分が除去されるため、適応制御の安定化を達成することができる。なお、このような効果が最も顕著に得られるのは、平均化期間 p を、前記特定周波数に対応した周期に対応する値に設定したと

き（例えば前記特定周波数の逆数が12TDC期間であるときは、 $p=12$ ）である。ただし、例えば最適値が $p=12$ の場合において、 $p=4$ としても実用上問題のない程度の安定性を得ることができる。

【0096】続くステップS405では、算出した適応補正係数KSTRのリミット処理を行う。すなわち、適応補正係数KSTRが上限値より大きいときは、 $KSTR=$ 上限値とし、下限値より小さいときは、 $KSTR=$ 下限値とし、上下限値の範囲内にあるときは、そのまま本処理を終了する。

【0097】本実施形態では、エンジン1がプラントに相当し、LAFセンサ17が検出手段または空燃比検出手段に相当し、図5のSTRコントローラが適応制御器に相当し、適応パラメータ調整機構が適応パラメータ調整手段に相当する。そして、STRコントローラ及び適応パラメータ調整機構は、より具体的にはECU5によって実現される。

【0098】なお、上述した例では、同定誤差信号 e アスタリスクの分子に相当する同定誤差 e_{id} に対して、非線形フィルタ処理及びローパスフィルタ処理等を行ったが、これに限るものではなく、同定誤差信号 e ア

$$\hat{\theta}_{AV}(k) = CAV \times \hat{\theta}_{AV}(k-1) + (1-CAV) \hat{\theta}(k)$$

すなわち、例えば4TDC期間毎に更新される適応パラメータベクトル θ ハットの要素に対して、1TDC期間毎に平滑化処理を行い、該処理後の適応パラメータ値を、適応補正係数KSTRの算出に使用してもよい。ただし、移動平均化演算による平滑化処理によれば、平均化期間 p の逆数に対応する周波数及びその整数倍の周波数における減衰量が増加するくし形フィルタ特性が得られ、不要な周波数成分のみを効果的に減衰させることができるので、移動平均化演算により得られた適応パラメータ値を使用することが望ましい。

【0101】また、例えば4TDC期間毎に適応パラメータベクトル θ ハットを更新する場合、時点 k で更新したときに、時点 $(k+1)$ 、 $(k+2)$ 、 $(k+3)$ に対応する適応パラメータベクトル θ ハットも決まるので、平均化演算は、必ずしも1TDC期間毎に行う必要はなく、適応パラメータベクトル θ ハットの更新時にまとめて実行してメモリに格納しておき、適応補正係数KSTRの算出時に対応するデータを読み出して使用するようにしてもよい。あるいは、平均化演算は、1TDC期間より短い期間（例えばクランク軸が30度回転するのに要する期間）毎に実行するようにしてもよい。

【0102】（第2の実施形態）第1の実施形態では、非線形フィルタにより適応パラメータのドリフトを防止するようにしたが、この手法では、制御対象である内燃機関の種々の運転状態や、LAFセンサ17の特性の経

スタリスクに対して同様の処理を行うようにしてもよい。また、上述した例では、非線形フィルタブロックB51の特性は、同定誤差 e_{id} が不感帯の範囲内にあるとき、出力 $e_{ida}=0$ としたが、0でなくても0に非常に近い値に設定するようにしてよい。

【0099】また、適応パラメータベクトル θ ハットの更新周期は、4TDC期間に限るものではなく、2TDC期間、6TDC期間、8TDC期間等としてもよい。また、1TDC期間毎に適応補正係数KSTRの算出に使用する適応パラメータベクトル θ ハットは、上述した移動平均値に限らず、図12に示すように適応パラメータ値が滑らかに変化するように、過去の更新ベクトル θ ハット $(k-4)$ 、 θ ハット $(k-8)$ 等の要素と今回の更新ベクトル θ ハット (k) の要素とを用いた補間演算あるいは下記数式23を用いた周知の平滑化処理（ローパスフィルタ処理）により得られる値を用いてもよい。数式23において、CAVは、0から1の間の値に設定されるなまし係数である。

【0100】

【数23】

時変化などにより、不感帯を決定する所定値 η の最適値が変化するため、長期間の使用により、不感帯が不適切なものとなる可能性がある。

【0103】そこで、本実施形態では、非線形フィルタに代えて適応パラメータのドリフトを防止する他の手段を導入した。なお、以下に述べる適応パラメータベクトル θ ハットの算出手法以外の点は、上述した第1の実施形態と同一である。

【0104】本実施形態では、前記数式5に代えて下記数式24を用いて適応パラメータベクトル θ ハットを算出する。数式24は、ブロック図で表すと図13(a)に示すようになる。この図において、ブロックB71、B74は、乗算を行うブロック、ブロックB72は、加算を行うブロック、ブロックB73は、1サンプル周期遅延させるブロックである。

【0105】

【数24】

$$\begin{aligned} \hat{\theta}(k) &= \sigma \hat{\theta}(k-1) + \Gamma(k-1) \zeta(k-d) e^*(k) \\ &= \sigma \hat{\theta}(k-1) + Q(k) e_{id}(k) \end{aligned}$$

ここで、 σ は、下記数式25のように設定される忘却係数ベクトルである。数式25の第2式は、 $m=n=1$ 、 $d=3$ の場合である。

【0106】

【数25】

$$\sigma = [Sb_0, Sr_1, Sr_2, \dots, Sr_{m+d-1}, Ss_0, \dots, Ss_{n-1}]$$

$$= [Sb_0, Sr_1, Sr_2, Sr_3, Ss_0]$$

数式24の第2式は、展開すると数式26のようになり、過去の同定誤差 $e_{id}(1)$ 、 $e_{id}(2)$ 、…に忘却係数ベクトル σ の $(k-1)$ 乗、 $(k-2)$ 乗が乗

算されることになる。

【0107】

【数26】

$$\hat{\theta}(k) = \sigma^k \hat{\theta}(0) + \sigma^{k-1} Q(1) e_{id}(1) + \sigma^{k-2} Q(2) e_{id}(2)$$

$$+ \dots + \sigma Q(k-1) e_{id}(k-1) + Q(k) e_{id}(k)$$

したがって、忘却係数ベクトル σ の要素 Sb_0 、 Sr_1 、…、 Ss_0 等を、0より大きく1より小さい値に設定することにより、 k が大きくなるほど、過去の同定誤差 e_{id} の影響が低減される。すなわち、同定誤差 e_{id} の過去値の影響を除去することができるので、設計上想定したモデルと、実際のプラントの特性との差や外乱の影響で発生する微小な同定誤差が、際限なく蓄積されることを防止することができ、適応パラメータベクトル θ ハットのドリフトを防止することができる。数式25から明らかなように、忘却係数ベクトル σ の各要素 Sb_0 、 Sr_1 、…、 Ss_0 等の値を、0に近づけるほど、同定誤差 e_{id} の過去値の影響度が低減されるので、適応パラメータベクトル θ ハットのどの程度の過去値までを今回値に反映させればよい制御特性が得られるかを実験的に確認し、各要素の値を設定することが望ましい。

【0108】ただし、このような忘却係数ベクトル σ を導入すると、エンジンが定常運転状態となり、同定誤差信号 e アスタリスク（同定誤差 e_{id} ）が非常に小さくなると、適応パラメータベクトル θ ハットの各要素の値は、ゼロに漸近する傾向を示す。ところが、適応パラメータ b_0 は、適応補正係数 $KSTR$ を算出する数式9（または数式21）の分母にあるため、適応パラメータ

b_0 が0に漸近すると、適応補正係数 $KSTR$ が無限大となり制御が発散してしまう。したがって、忘却係数ベクトル σ の要素 Sb_0 は「1」とすることが望ましい。このように設定しても、他の適応パラメータ r_1 、 r_2 、…、 s_0 等は、忘却係数 Sr_1 、 Sr_2 、…、 Ss_0 等により有限値に抑えられるので、適応パラメータ b_0 の絶対値が発散するような事態は発生しない。以下この点を説明する。

【0109】適応パラメータ θ ハットは、数式13の第1式で表される同定誤差 $e_{id}(k)$ をゼロとするように調整される。本実施形態では、多項式 $D(Z^{-1}) = 1$ としているので、 $e_{id}(k) = 0$ とすると、数式27の関係が成立する。

【0110】

【数27】

$$y(k) = \hat{\theta}^T(k-1) \zeta(k-d)$$

ここで、 $y(k) = KACT(k)$ 、 $u(k) = KSTR(k)$ 、 $d=3$ とすると、数式27は数式28のようになる。

【0111】

【数28】

$$KACT(k) = b_0 KSTR(k-3) + r_1 KSTR(k-4) + r_2 KSTR(k-5)$$

$$+ r_3 KSTR(k-6) + s_0 KACT(k-3)$$

この数式28において、検出当量比 $KACT(k)$ 及び適応補正係数 $KSTR(k)$ は、有限値であるので、適応パラメータ r_1 、 r_2 、 r_3 、 s_0 が有限値であれば、適応パラメータ b_0 も当然に有限値となり、発散することはない。

【0112】なお、忘却係数ベクトル σ の要素 Sb_0 以外の要素 Sr_1 、 Sr_2 、…、 Ss_0 等は、全て同一の値 S としてもよく、例えば $S=0.95 \sim 0.99$ 程度の値とする。

【0113】また、忘却係数ベクトル σ の要素 Sb_0 以外の要素 Sr_1 、 Sr_2 、…、 Ss_0 等のうちの一部を、「1」に（すなわち忘却しないように）設定しても、忘却係数ベクトル σ を全く乗算しない数式5を用いた場合より、適応パラメータベクトル θ ハットのドリフ

トを低減することができる。

【0114】本実施形態では、図5の STR コントローラが適応制御器に相当し、適応パラメータ調整機構が適応パラメータベクトル調整手段に相当し、忘却係数ベクトル σ の要素が、所定の係数に相当する。

【0115】（第3の実施形態）第2の実施形態では、忘却係数 σ を導入することにより、適応パラメータのドリフトを防止するようにしたが、この手法では、定常的な運転状態が継続すると、適応パラメータベクトルの b_0 以外の要素 r_1 、 r_2 、 s_0 等がゼロ近傍に収束するため、適応制御が本来的に備えている動特性補償能力が低下するという問題がある。

【0116】そこで、本実施形態では、定常的な運転状態が継続した場合には、適応パラメータベクトル θ ハッ

トがその初期値に収束するように、適応パラメータベクトル θ ハットの演算式を変更するとともに、その初期値を定常的な運転状態において適切な動特性補償能力が得られるように設定するようにした。なお、以下に述べる適応パラメータベクトル θ ハットの算出手法以外の点は、上述した第1の実施形態と同一である。

【0117】本実施形態では、前記数式5を下記数式29のように、適応パラメータベクトルの初期値 θ ハット(0)とその更新成分 $d\theta$ ハット(k)の和の形式に変形し、更新成分 $d\theta$ ハット(k)を下記数式30により算出するようにした。数式30における δ は、数式31のように設定される忘却係数ベクトルであり、数式31

$$\begin{aligned} d\hat{\theta}(k) &= \delta d\hat{\theta}(k-1) + \Gamma(k-1)\zeta(k-d)e^*(k) \\ &= \delta d\hat{\theta}(k-1) + Q(k)e id(k) \\ &= \delta^{k-1}Q(1)e id(1) + \delta^{k-2}Q(2)e id(2) \\ &\quad + \cdots + \delta Q(k-1)e id(k-1) + Q(k)e id(k) \end{aligned}$$

【0120】

$$\begin{aligned} \delta &= [Db_0, Dr_1, Dr_2, \dots, Dr_{m+d-1}, Ds_0, \dots, Ds_{n-1}] \\ &= [Db_0, Dr_1, Dr_2, Dra, Ds_0] \end{aligned}$$

更新成分 $d\theta$ ハット(k)は、展開すると数式30の第3式のように表されるので、これを数式29に適用すると数式32が得られる。

$$\begin{aligned} \hat{\theta}(k) &= \hat{\theta}(0) + \delta^{k-1}Q(1)e id(1) + \delta^{k-2}Q(2)e id(2) \\ &\quad + \cdots + \delta Q(k-1)e id(k-1) + Q(k)e id(k) \end{aligned}$$

数式32を数式26と対比すると、本実施形態の適応パラメータベクトル演算式31は、適応パラメータベクトルの初期値 θ ハット(0)に忘却係数ベクトル δ が乗算されない点で、数式24と異なる形式を有することがわかる。すなわち、数式24を使用する第2の実施形態は、数式32を使用する第3の実施形態において、初期値 θ ハット(0)にも忘却係数を乗算するようしたものとなすことができる。

【0122】忘却係数ベクトル δ の各要素 $Db_0, Dr_1, Dr_2, \dots, Ds_0$ 等は、忘却係数ベクトル σ と同様に、0より大きく1より小さい値に設定する。ただし、初期値 θ ハット(0)の設定値に拘わらず、適応制御の定常偏差をゼロとするために、 Db_0 のみ「1」に設定することが好ましい。第2の実施形態において、忘却係数ベクトル σ の要素 $Sb_0=1$ としても、適応パラメータベクトル θ ハットのドリフトが発生しないのと同じ理由で、 $Db_0=1$ としても適応パラメータ θ ハットのドリフトは発生しない。

【0123】また、要素 Db_0 以外の要素 Db_0, Dr_1, Dr_2, Ds_0 等は全て同一値 D ($0 < D < 1$ 、例えば0.95～0.99程度の値とする)に設定しても制御性能上特に問題はないので、忘却係数ベクトル $\delta=$

の第2式は、 $m=n=1, d=3$ の場合である。数式29、30による演算をブロック図で表すと、図13

(b)に示すようになる。この図において、ブロックB71、B75は、乗算を行うブロック、ブロックB72、B76は、加算を行うブロック、ブロックB73は、1サンプル周期遅延させるブロックである。

【0118】

【数29】

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(0) + d\hat{\theta}(k)$$

【0119】

【数30】

【数31】

【0121】

【数32】

【1, D, D, ..., D】とすることが望ましい。

【0124】以上のように本実施形態では、忘却係数ベクトル δ を用いて数式29(即ち数式32)により適応パラメータベクトル θ ハットを算出するようにしたので、定常的な運転状態が継続した場合には、適応パラメータベクトル θ ハットは、その初期値 θ ハット(0)の近傍(近い値)に収束する。したがって、初期値 θ ハット(0)を適切に設定することにより、定常的な運転状態が継続した場合でも適応パラメータベクトル θ ハットのドリフトを防止しつつ、良好な動的補償能力を維持することができる。

【0125】なお、忘却係数ベクトル δ の要素 Db_0 以外の要素 Dr_1, Dr_2, \dots, Ds_0 等のうちの一部を、「1」に(すなわち忘却しないように)設定しても、忘却係数ベクトル δ を全く乗算しない数式5を用いた場合より、適応パラメータベクトル θ ハットのドリフトを低減することができる。

【0126】本実施形態では、図5のSTRコントローラが適応制御器に相当し、適応パラメータ調整機構が適応パラメータベクトル調整手段に相当し、忘却係数ベクトル δ の要素が、所定の係数に相当する。

【0127】(その他の実施形態)なお、本発明は上述

した実施形態に限るものではなく、種々の変形が可能である。上述した実施形態では適応制御器をむだ時間 $d = 3$ に対応したものとして設計を行い、適応パラメータ調整機構の入力ベクトル ζ のサンプリング時期を $d = 3$ より大きい実際のむだ時間に合わせるようにしたが、適応制御器を例えばむだ時間 $d = 2$ に対応したものとし、適応パラメータ調整機構の入力ベクトル ζ のサンプリング時期を $d = 2$ より大きい実際のむだ時間に合わせるようにしてもよい。

【0128】さらには、本発明は、適応制御器を例えばむだ時間 $d = 2$ に対応したものとし、適応パラメータ調整機構の入力ベクトル ζ のサンプリング時期を $d = 2$ とするような、低次元化がされていない適応制御器にも適応可能である。

【0129】また、上述した実施形態では、適応制御の操作量を、吸入供給量に対応する基本燃料量 $TIMF$ の補正係数 $KSTR$ としたが、これに限るものではなく、燃料噴射量 $TOUT$ を直接適応制御により算出するようにしてもよい。ただし、操作量を補正係数 $KSTR$ とすることにより、燃料噴射量 $TOUT$ を操作量とする場合に比べて、とりうる値の範囲がより限定されるので、制御をより安定化することができる。

【0130】また、制御の対象となるプラントはエンジンに限るものではなく、例えば化学製品の製造工程等であってもよい。その場合には、検出する物理量は例えば流量や濃度等であり、操作量は制御弁の開度等である。

【0131】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、適応パラメータベクトルを更新するときは、更新成分の過去値の少なくとも一部の要素に、0 より大きく且つ 1 より小さい所定の係数が乗算される。その結果、定常状態で適応パラメータベクトルの初期値に更新成分を加算する演算を繰り返しても、適応パラメータの値がドリフトすることがなく、安定した適応制御を継続することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明のプラントの制御装置を、内燃機関の空燃比制御装置として構成した例を示す図である。

【図 2】図 1 の構成における空燃比制御手法を説明するための機能ブロック図である。

【図 3】LAF センサ出力に基づいて適応補正係数を算出する処理のフローチャートである。

【図 4】LAF フィードバック領域判別処理のフローチャートである。

【図 5】適応補正係数 ($KSTR$) の算出処理を説明するためのブロック図である。

【図 6】本実施形態の手法を適用した場合の制御性能を説明するための図である。

【図 7】適応パラメータベクトルの算出方法を説明するためのブロック図である。

【図 8】図 7 にフィルタブロックの特性を示す図である。

【図 9】適応補正係数 ($KSTR$) の算出処理のフローチャートである。

【図 10】適応パラメータ演算処理のフローチャートである。

【図 11】適応パラメータの移動平均値の算出方法を説明するための図である。

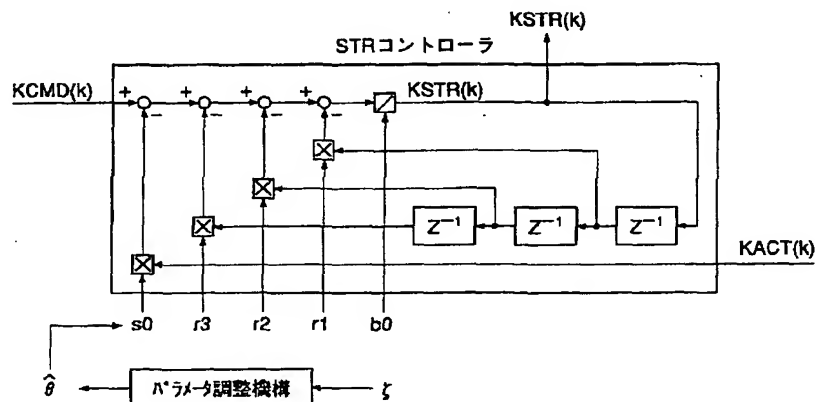
【図 12】適応パラメータの値とその移動平均値の推移を示す図である。

【図 13】適応パラメータベクトルの算出方法を説明するためのブロック図である。

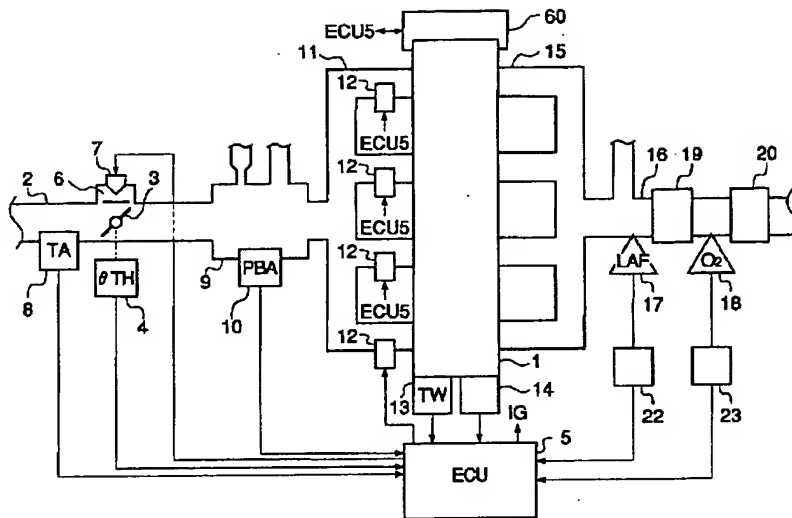
【符号の説明】

- 1 内燃機関 (本体)
- 2 吸気管
- 5 電子コントロールユニット (ECU) (適応パラメータベクトル調整手段、適応制御器)
- 12 燃料噴射弁
- 16 排気管
- 17 広域空燃比センサ (検出手段、空燃比検出手段)

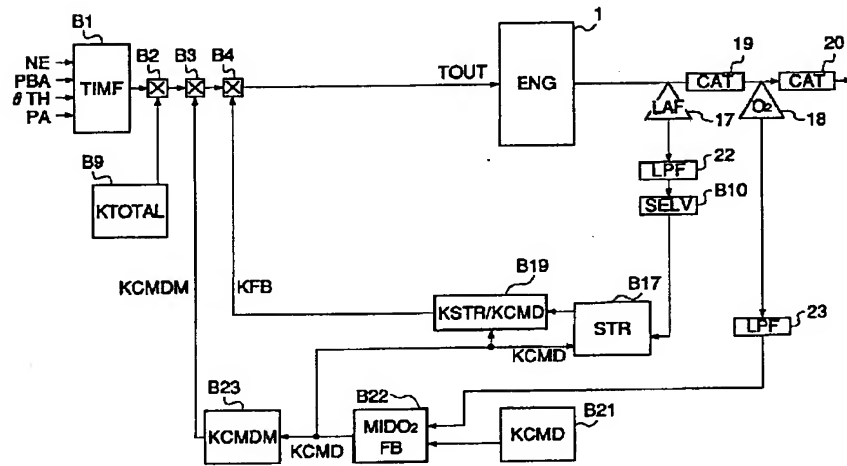
【図 5】



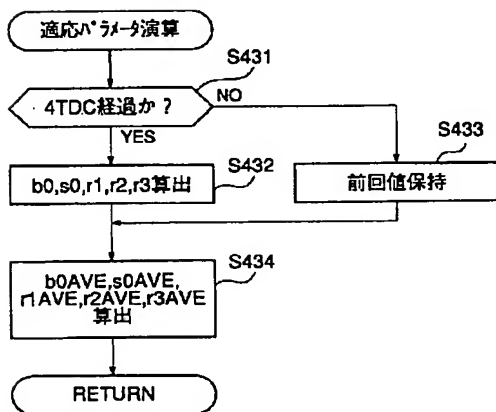
【図 1】



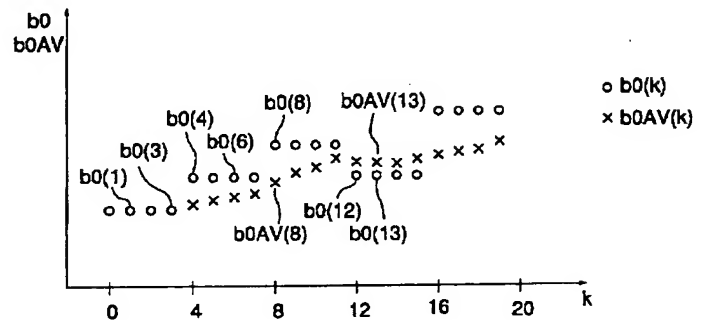
【図 2】



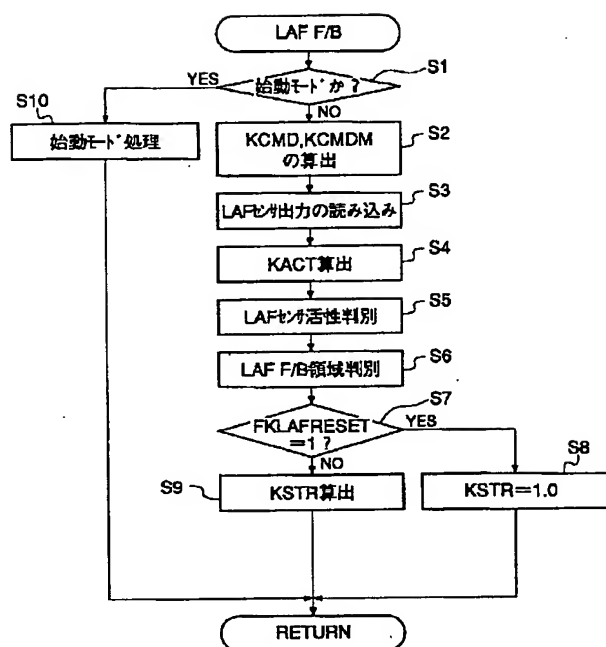
【図 10】



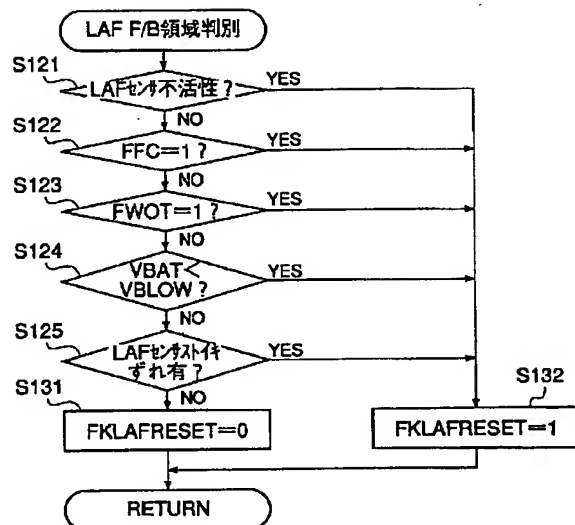
【図 12】



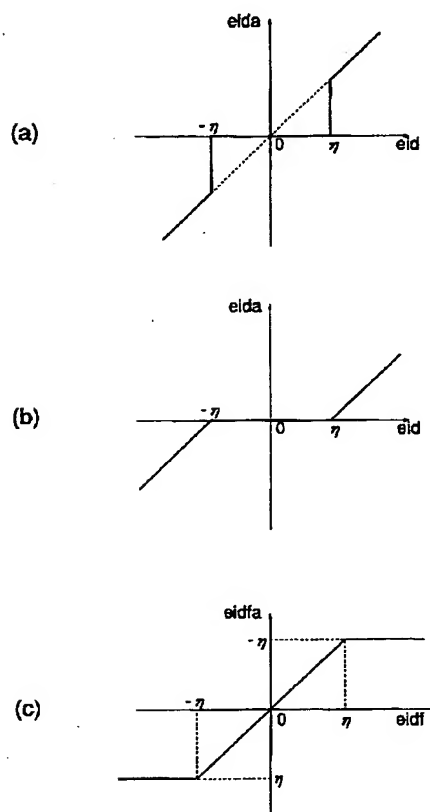
【図 3】



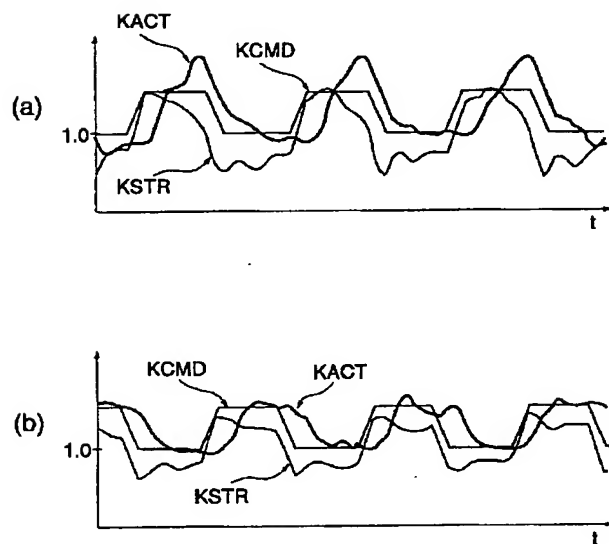
【図 4】



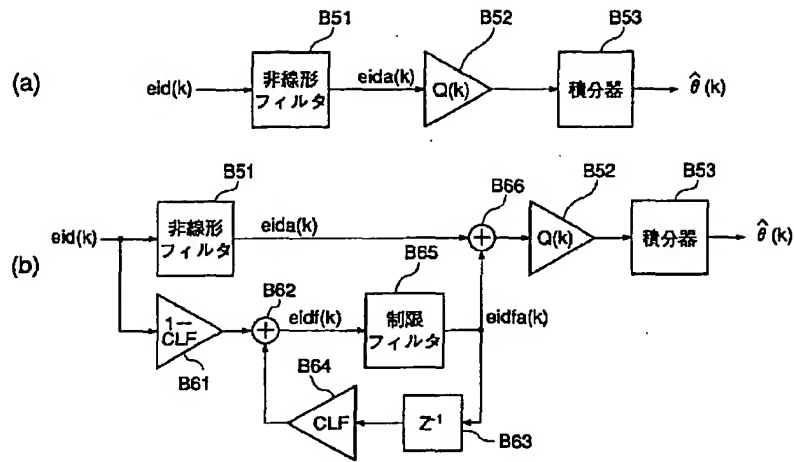
【図 8】



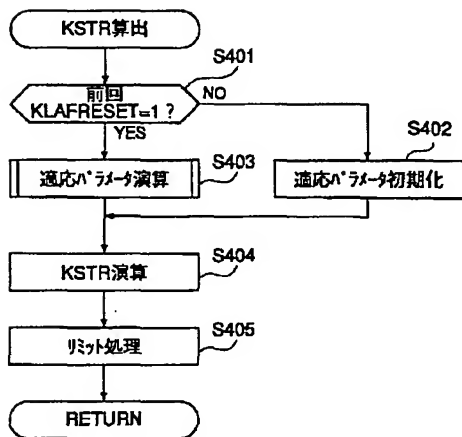
【図 6】



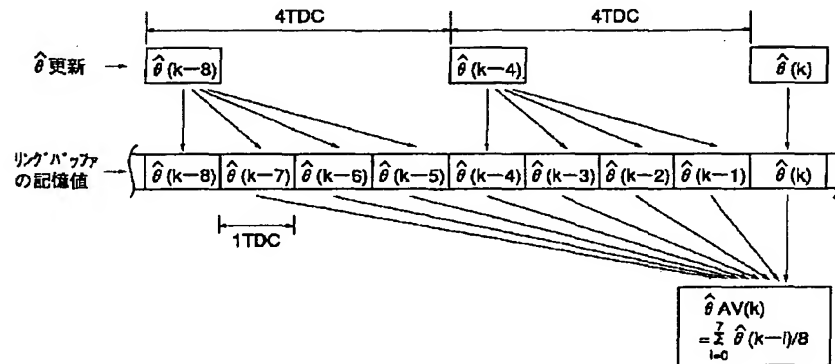
【図 7】



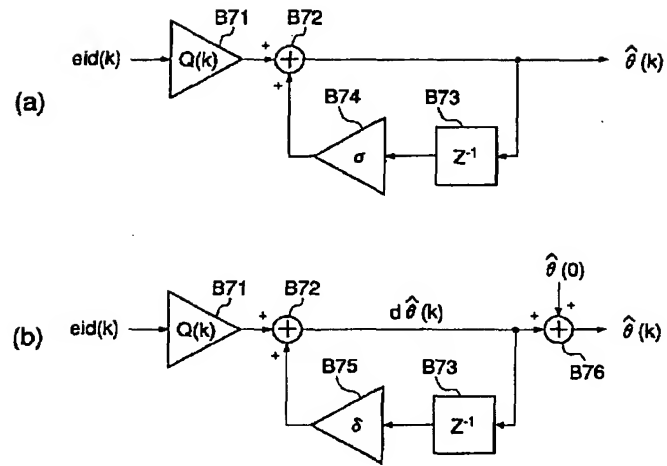
【図 9】



【図 11】



【図 13】



フロントページの続き

(72)発明者 赤崎 修介
 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
 社本田技術研究所内

(72)発明者 北川 浩
 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
 社本田技術研究所内